

論文の内容の要旨

論文題目 Traffic Image Analyses based on
Spatio-Temporal Markov Random Field Model
(時空間 Markov Random Field モデルに基づく
交通画像解析の研究)

氏名 上條 俊介

ITS(Intelligent Transportation Systems)に関する研究において、交通事故の削減や渋滞緩和は社会的要請も強く、最も重要な目的の一つである。このためには、交通事象を詳細に分析し、その結果をもとに交通監視システムを確立することが不可欠である。

この目的には、誘導コイルや超音波センサーを用いた車両検知器を使用するのみでは十分な情報が得られず、画像における車両の正確なトラッキングが不可欠である。しかし、従来のトラッキング技術の成果によると、極めて曖昧な情報しか得られないという実情がある。この主な原因は、オクルージョンが様々な状況で生じるためである。このため、空いている交通で、かつ、直線走行を仮定するなどしなければこの問題を解くことができなかった。そして、このことが交通画像の詳細な分析を自動で行い、実際に交通流を自動で監視するにあたっての大きな壁となり、いっこうに実用的に意味のある交通監視システムを確立することに発展し得なかったのである。本研究の前半では、様々な混雑やオクルージョンの状況での正確なトラッキングを可能とするためのアルゴリズムを開発し、後半では、この正確なトラッキング結果を用いての交通事象把握に関する研究を行った。

前述のように、車両トラッキングでは、従来から最も困難な課題の一つとしてオクルージョンの問題があり、安定したトラッキングを実現することが困難な状況であった。この問題を扱う様々な研究がなされてきたが、例えば、高速道路における直線走行を仮定するなど、本質的な解決にはなっていない。あるいは、車両の形状モデルを仮定する方法も提案されているが、こちらは良好な結果すら得られていない。とくに、本研究では大きな交差点や複雑な合流部を対象としているため、様々な大きさ、形状の車両が様々な動

きをすることにより、オクルージョンも様々な条件で生じる。また、そもそも交通事故や危険行為に関わる車両の挙動は仮定に沿わないものであるため、従来の直線走行や空いている状況に適用していた、線形軌道予測や車両形状モデルを仮定することは根本的に目的と矛盾し、これらとは異なる新たなパラダイムが必要とされる。

そこで、本論文ではあらゆる仮定を排除し、トラッキングを時空間画像中の領域分割の問題としてとらえるという新たなパラダイムを提唱する。即ち、時空間画像の領域分割という視点に立って、互いに重なりオクルージョンを生じている車両同志を分離する手法である。

ここで、従来から静止画像の修復や領域分割に有効な手法として良く知られているものに、物理学における統計力学の考え方を応用した Markov Random Field モデルがある。このモデルは、隣接ピクセル同志は画素値が近似している確率が高いこと、隣接ピクセル同志は同じ領域に属している確率が高いことなどの性質を用い、最も確からしい領域に分割するものである。

本論文では、この MRF モデルを時空間画像の領域分割に拡張適用すべく、独自に時空間 MRF モデルを定義した。具体的には、一枚の画像中のみならず、時空間画像中の隣接した画像同士での領域の連続性 (図 1(a)) やテクスチャ相関 (図 1(b)) を評価し、時空間画像中に移動物体が描く軌跡が形成する領域の分割を確率緩和過程を用いて最適化する。

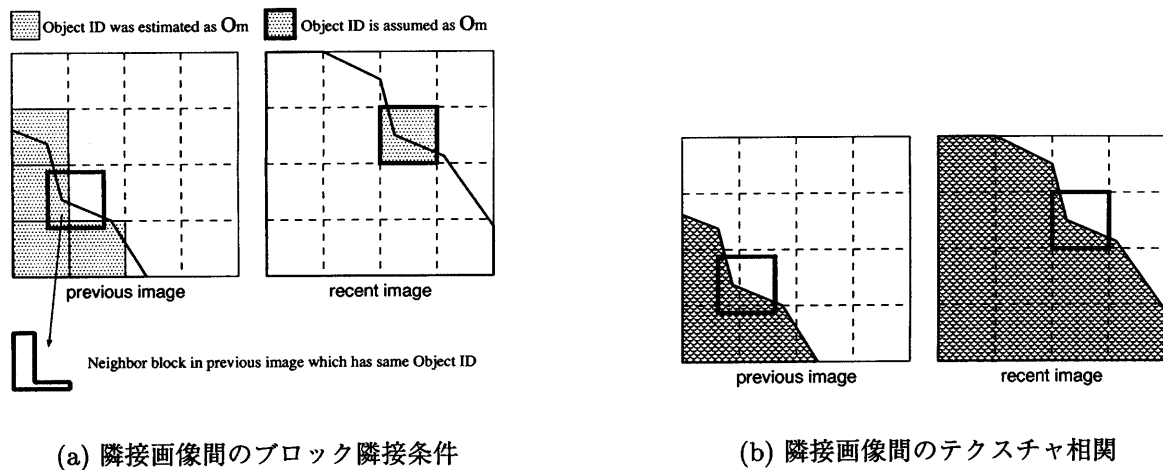
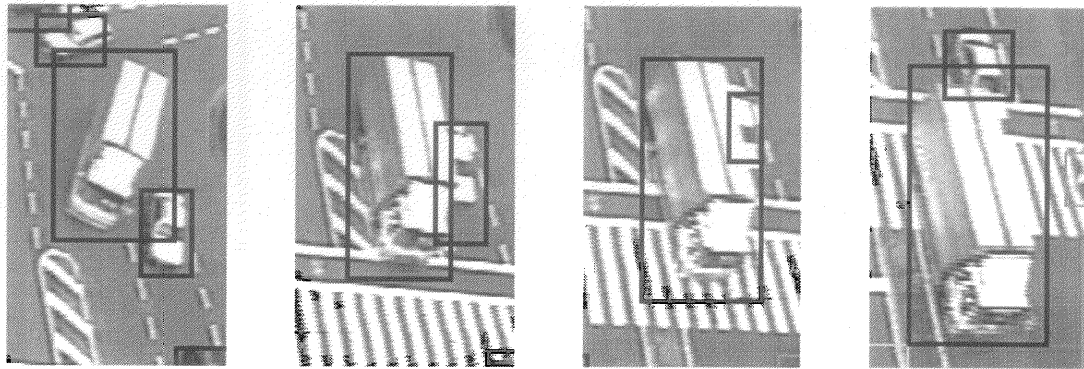


図 1: 時空間 MRF における評価関数

本手法により、図 2 に示すようにオクルージョンを生じている場合でも、互いの車両を分離したトラッキングが可能となった。このアルゴリズムを神田駿河台下交差点の映像に適用した評価実験を行ったところ、オクルージョンの生じている状況において約 95% の成功率でトラッキングを行うことができた。



(a) frame 678

(b) frame 696

(c) frame 702

(d) frame 710

図 2: 時空間 MRF によるトラッキング結果

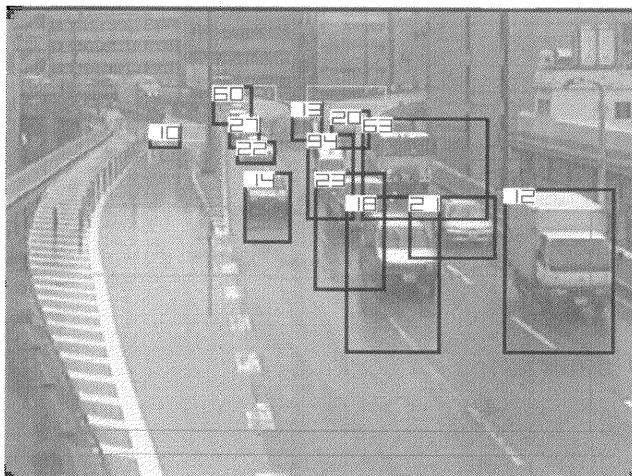


図 3: 正面画像のトラッキング結果

さらに, 上記アルゴリズムを改良し, 各ブロックごとに動きベクトルを最適化する等により, 高速道路の合流地点における低画角および正面画像という車両の分割にとって最も厳しいとされる条件においても, 90% 以上の車両を正確にトラッキングすることに成功した (Figure.3).

このアルゴリズムの最大の特徴は, 直線走行や車両形状モデルなども仮定せず, 濃淡画像から得られる情報のみを用いることで実現できるため, 汎用性が高く, また安定性も高いことから, 複雑な挙動を示す車両を正確に追跡することができる点にある.

そこで, 本論文の後半では, 上記トラッキングをもとにした交通事象把握手法を

開発し, 実験を行った. 従来から時系列画像の認識分類に関する研究は多く行われており, その代表例が隠れマルコフモデル (HMM) を用いた手法である. しかし, 従来研究の多くは, 画像から得られる画素値そのものを観測量としているため, 特定の場所を固定された画角から撮影された映像にしか使用できないものとなっていた. この点, 本研究における事象把握は, 異なる交差点を異なる画角で撮影した状況に一般的に適用することを考えているため, 交差点形状等に依存しない特徴量を導入することが重要である.

具体的には, トラッキングの結果をもとに, 2台の車両の動きベクトルの差分を, 互いの車両の距離で割ったベクトルを2次元空間の中で量子化した時系列観測量を HMM により学習・認識する手法を試みた. 2台の車両の関係に注目した理由は, 衝突など, 事故に特有

の特徴量シーケンスを交差点形状等に依存しない形で抽出するためである。動きベクトルの差分を車両同志の距離で割ることとしたのは、同じ速度差でも近い距離にある方がより危険な状態だからである。

本アルゴリズムにより、交通映像の中で車両同志のすれ違い、追い抜き等の通常状態を4つの状態に分けて認識分類実験を行ったところ、85-93%の成功率で認識することができた。最後に、HMMを用いて、画像中から事故に類似する時系列データを通常状態から識別した後、明示的な交通規則と併せて事故を判定する手法を提案し、実際の事故検出にも成功した(図4)。



(a) 横浜：原宿交差点 (AHS 研究組合殿
ご提供)

(b) 東京：駿河台下交差点

図 4: 衝突事故検出